

Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico

Yordanis E. Batista-Legrá
Orlando Belete-Fuentes

Resumen

Se evaluó la exactitud de las poligonales medidas en el yacimiento Camarioca Sur lo que permitió obtener nuevos parámetros técnicos para la red de densificación geodésica, teniendo en cuenta el empleo de estaciones totales. Se utilizaron como referencia las poligonales trazadas por los técnicos de GEOCUBA, validándolas con los softwares Topo6, Autocad Map y Autocad Civil 3D 2010. Se empleó el sistema de posicionamiento global (GPS) Leica 1200 para el control de los trabajos, tomando como referencia los puntos de apoyo utilizados por GEOCUBA Oriente Norte. Se concluye que cuando se usan estaciones totales es posible fusionar las poligonales de primera y segunda categoría en un solo grupo en virtud de que la exactitud de las mediciones es mayor.

Palabras clave

precisión; poligonales; puntos de apoyo.

Considerations about the nets accuracy of the topographical rising

Abstract

The accuracy of the polygonal measured in the location of Camarioca Sur was evaluated to obtain new technical parameters for the geodesic densification net taken into account the use of total stations. The polygonal traced by the technicians of GEOCUBA group were used as reference, validating them with the softwares Topo6, Autocad Map and Autocad Civil 3D 2010. Global positional system (GPS) Leica 2010 was used for the control of works, taking as reference the support points used by GEOCUBA Oriente Norte group. It is concluded that when total station is used, it is possible to joint polygonal of first and second category because of a higher accuracy of measurements.

Keywords

precision; polygonal; support points.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de exploración geológica y explotación minera en los yacimientos lateríticos cubanos muestran, desde hace algunos años, problemas con los puntos de apoyo utilizados para los trabajos topográficos (Belete-Fuentes 1998), lo que ha provocado inestabilidad en los procesos de explotación y rehabilitación minera y atrasos en los trabajos de exploración geológica; ello repercute en la precisión de los resultados del cálculo de reservas y del volumen del mineral extraído (Batista-Legrá 2012).

Con el desarrollo científico técnico, el avance de la tecnología topográfica y la necesidad de estudiar los distintos fenómenos naturales que inciden sobre la vulnerabilidad de obras mineras, se necesitan bases de apoyo con criterios de exactitud más rigurosos, que permitan dar respuesta a las necesidades topográficas en los yacimientos lateríticos cubanos (Acosta-González 2009).

La poligonometría es el método de densificación más empleado en la topografía minera (Batrakov 1984; Batista-Legrá 2012). Con la introducción de las nuevas tecnologías (estaciones totales) aparecen limitaciones al realizar los trabajos topográficos según las instrucciones vigentes en cuanto a longitud de los lados, distancia máxima, exactitud de las redes de apoyo y etapas de desarrollo, lo que dificulta la explotación de los instrumentos al máximo. Por tal motivo se valoró la exactitud en la realización de los trabajos poligonométricos en el yacimiento Camarioca Sur cuando se emplean estaciones totales.

En la caracterización de la exactitud de las redes de densificación geodésica, realizada por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ICGC (1987), aparecen las poligonales técnicas divididas en dos clases, cuya precisión lineal es 1:2 000 y 1:1 000 y con una sola precisión angular ($1'\sqrt{n}$). No es posible que poligonales medidas con el mismo instrumento topográfico tengan diferente precisión lineal e igual precisión angular.

Las instrucciones técnicas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía ICGC (1987) muestran en uno de sus acápites las características de las poligonales según su exactitud, donde se valora la precisión de las poligonales de primera y segunda clases. En esas instrucciones técnicas no se expone ningún criterio para elegir si una poligonal se realiza de primera o de segunda clase.

En este trabajo se realiza un análisis de la precisión de las poligonales de primera y segunda clases cuando se construyen con estaciones totales, por ser las más usadas en los levantamientos topográficos que se realizan en los yacimientos lateríticos del norte de Holguín.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió del análisis de las poligonales trazadas por el grupo GEOCUBA y se validó con los softwares Topo6, Autocad Map y Autocad Civil 3D 2010. Para el control de los trabajos se utilizó el sistema GPS Leica 1200, tomando como referencia los puntos de apoyo utilizados por GEOCUBA Oriente Norte, según itinerario presentado en informe técnico preliminar.

Se analizaron los datos de la Tabla 1, y se determinó la relación entre precisión lineal y precisión angular utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{P_1}{emc_1} = \frac{P_2}{emc_2} \quad (1)$$

Donde:

P_1 - Precisión lineal de la poligonal de 4^{to} orden

emc_1 - error medio cuadrático de la medición del ángulo de la poligonal de 4^{to} orden

P_2 - Precisión lineal de la poligonal de 1^{ra} categoría

emc_2 - error medio cuadrático de la medición del ángulo de la poligonal de 1^{ra} categoría.

Tabla 1. Parámetros de la red de densificación geodésica actual

Características	4 ^{to} orden	1ra categoría	2da categoría	1ra clase	2da clase
Error relativo	1:25 000	1:10 000	1:5 000	1:2 000	1:1 000
Error medio cuadrático de la medición de ángulo, s.	2	5	10
Error de cierre angular	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$60''\sqrt{n}$	
Longitud límite, km	10	5	3

2.1. Cálculo de la longitud máxima de la poligonal

La longitud límite permisible calculada para las poligonales técnicas (precisión lineal 1:2 000), que se presenta en la Tabla 1, fue comprobada mediante la siguiente expresión:

$$L = 1,73MT_m \quad (2)$$

Donde:

M - Error estándar (Ganshin & Koskov 1977), $M=0,4$ mm)

T_m – denominador del error relativo permisible de la poligonal

El error estándar se calcula por la siguiente expresión (Lebedev 1984):

$$M = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{L}{T_m} \quad (3)$$

Se realiza una comprobación, aplicando la fórmula de Batrakov (1984):

$$L = f_s(2000) \quad (4)$$

Donde:

f_s - error de cierre lineal permisible

2.2. Cálculo de la cantidad de etapas de desarrollo de la base geodésica y de la precisión necesaria de las mediciones de diferentes etapas

En el yacimiento Camarioca Sur es necesario crear la base topográfica de levantamiento para el replanteo y amarre de la red de perforación de 35 x 35 m, a escala 1:5 000. Debe asegurarse que la base tenga una cantidad mínima de etapas de desarrollo para evitar que se diluya la precisión. Cuantas más etapas de desarrollo de la base existan, menos segura será la precisión de las coordenadas de los puntos a replantear.

En el territorio de Camarioca Sur existe un punto de triangulación de cuarto orden y tres de primera categoría. Surge entonces el problema de elegir, del modo más razonable, la cantidad de etapas para obtener mayor densificación de la base geodésica y calcular la precisión necesaria de cada etapa.

Se aceptó como base de los cálculos de la etapa final de construcción de la base geodésica, las poligonales técnicas cuyo error medio de construcción fuera de 1:2 000 $(T_m)f = 2000$; en calidad de etapa de

partida de desarrollo de la base se aceptó la de triangulación de cuarto orden, para lo cual $(T_m)_i = 25000$.

Es razonable imponer la condición que el coeficiente de reducción de la precisión siempre será igual al pasar de una etapa a otra. En este caso, se pudo escribir para las etapas intermedias del desarrollo de la base la siguiente ecuación (Lebedev 1984):

$$T_1 = \frac{T_i}{K}; \quad T_2 = \frac{T_1}{K} = \frac{T_i}{K^2}; \quad T_3 = \frac{T_2}{K} = \frac{T_i}{K^3}; \quad \dots \quad T_n = \frac{T_i}{K^n} \quad (5)$$

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_i}{T_f}} \quad (6)$$

Donde:

T_i – error relativo inicial

T_f – error relativo final

K – coeficiente de reducción de la precisión.

Para la valoración del error medio cuadrático de las mediciones realizadas con estaciones totales se tomó el error medio cuadrático del lado de la base (Tabla 2) para obtener mayor precisión.

Tabla 2. Error medio cuadrático relativo de las poligonales

Error medio cuadrático relativo	4 ^{to} orden	1 ^{ra} categoría	2 ^{da} categoría
Error medio cuadrático relativo del lado de partida	1:100 000	1:50 000	1:20 000
Error medio cuadrático relativo del lado más débil	1:50 000	1:20 000	1:10 000
Error medio cuadrático relativo de determinación del lado de la poligonal	1:25 000	1:10 000	1:5 000

En el yacimiento Camarioca Sur se realizó un control a las poligonales construidas por GEOCUBA (Tabla 3) y se comprobó que las longitudes de las poligonales están excedidas y que no es necesario trazar poligonales de segunda clase.

Los datos mostrados en la Tabla 3 están dentro del rango permisible y pertenecen a la clasificación de poligonales de primera clase. Según la clasificación de la distancia permisible que se propone (1 500 m), solo una está excedida (2 118,55 m).

Tabla 3. Poligonales de primera clase

Nombre	No vért.	Error β	Error ang. perm.	E. L. Total (m)	E. L. Relat	E. L. Admisible	Perímetro (m)
CS-III	16	0° 1' 10"	0° 4' 7"	0,26410	1: 3 336,00	1: 2 000	881,04
NF06-YAG308A	16	0° 1' 59"	0° 4' 7"	0,02493	1: 51 214,30	1: 2 000	1276,55
F. SM-2	17	0° 0' 16"	0° 4' 22"	0,01804	1: 61 644,91	1: 2 000	1112,19
Abril	49	0° 2' 1"	0° 6' 19"	0,55805	1: 3 796,32	1: 2 000	2118,55
f06-YaG 371	4	0° 0' 57"	0° 2' 27"	0,24917	1: 2 377,35	1: 2 000	592,37

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la Tabla 4, los resultados comprobados de las poligonales de cuarto orden y de primera y segunda categorías no muestran diferencias significativas; puede asegurarse entonces que los resultados obtenidos a través del cálculo mediante la fórmula (1) y los de la Tabla 1 coinciden, lo que demuestra la validez de la fórmula propuesta.

Tabla 4. Parámetros de la red de densificación geodésica propuesta

Características	4 ^{to} orden	I categoría	II categoría	Técnica
Error relativo	1:25 000	1:10 000	1:5 000	1:2 000
emc de la medición de ángulo, s	2	5	10	25
Error de cierre angular	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$50''\sqrt{n}$
Longitud límite, km	10	5	3	1,5

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula (1) son los siguientes:

- Se demostró que las determinaciones de los parámetros de la red de densificación geodésica propuesta y comprobada por los autores (1) son iguales (Tabla 4).
- Fue obtenida la longitud máxima de la poligonal con un error estándar de 0,43 por la fórmula (2): $M=0,43$
- Se calculó la longitud máxima de la poligonal: calculada por la fórmula (2) $L=1500m$ y calculada por la fórmula (4)

$$L = 1\,384\,m$$

Ambos resultados son parecidos, por lo que se corrobora el valor de la longitud expresada en la Tabla 4.

- Fue obtenida la cantidad de etapas de desarrollo de la base geodésica y la precisión necesaria de las mediciones de diferentes etapas.

Según los datos obtenidos se calculó, primeramente, el coeficiente de reducción de la precisión K, partiendo de la poligonometría de 4^{to} orden para el lado más débil de la base:

Según (6):

$$K = \sqrt[3]{\frac{25000}{2000}} = \sqrt[3]{12.5} = 2.3$$

El denominador de la precisión relativa media de la etapa intermedia de densificación será (5):

$$T_1 = \frac{25000}{2.32} = 10776 ; T_2 = \frac{10776}{2.32} = 4645 ; T_3 = \frac{4645}{2.32} = 2002$$

$T_1 = 10776$, la precisión límite relativa será 1:10 000

$T_2 = 4645$, la precisión límite relativa será 1:5 000

$T_3 = 2002$, la precisión límite relativa será 1:2 000.

Por consiguiente, en nuestro caso, forman parte del esquema de desarrollo de la base:

1. Una poligonometría de 1^{ra} categoría (1:10 000)
2. Una poligonometría de 2^{da} categoría (1:5 000)
3. Una poligonal de 1^{ra} clase (1:2 000).

En el análisis realizado a ocho poligonales trazadas en el yacimiento Camarioca Sur se pudo comprobar que cuando se emplean estaciones totales la precisión obtenida por las poligonales de segunda clase puede ser asumida por las poligonales de primera clase, por eso se propone eliminar el concepto de poligonometría de primera y segunda clase y establecer el concepto anterior de poligonales técnicas con precisión lineal (1:2 000) y precisión angular $50''\sqrt{n}$ (Tabla 4).

5. CONCLUSIONES

El estudio de la relación entre precisión lineal y precisión angular demostró que cuando se mide con estaciones totales aumenta la exactitud en las mediciones, lo que permite fusionar las poligonales de primera y segunda categoría en un solo grupo. Fue obtenida y comprobada la longitud máxima permisible de una poligonal técnica y

se calculó la cantidad de etapas de desarrollo de la base geodésica y la precisión de las mediciones de diferentes etapas para las poligonales construidas en el yacimiento Camarioca Sur.

6. REFERENCIAS

- ACOSTA-GONZÁLES, L. 2009. *Determinación de índices de vulnerabilidad geotécnica por métodos geodésicos*. Instituto Técnico Militar José Martí. Tesis doctoral. 154 p.
- BATRAKOV, Y. G. 1987: *Redes geodésicas de densificación*. Editorial Nedra, Moscú, 256 p.
- BATISTA-LEGRÁ, Y. 2012. *Procedimiento para la determinación de un modelo del geoide local*. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Tesis de maestría. 69 p.
- BELETE-FUENTES, O. 1998. *Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído en yacimientos lateríticos cubanos*. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Tesis doctoral. 92 p.
- GANSHIN, V. M. & KOSKOV, B. 1977: *Instrucciones técnicas para levantamientos a grandes escalas*. Editorial Nedra, Moscú, 248 p.
- ICGC 1987: *Instrucciones técnicas para levantamientos topográficos a escala 1:2000, 1:1000, 1:500*. Editorial del Centro de Información de la Construcción, La Habana, 76 p.
- LEBEDEV, N. 1984: *Geodesia aplicada a la ingeniería*. Editorial Nedra, Moscú, 376 p.
- LEVCHUK, G. & KONOSOV, V. 1981: *Geodesia aplicada*. Editorial Nedra, Moscú, 44 p.

Yordanis Esteban Batista-Legrá ybatista@ceproni.moa.minbas.cu

Ingeniero Hidrógrafo Geodesta.

Profesor Instructor. Empresa de Ingeniería y Proyectos del Níquel. Cuba.

Orlando Belete-Fuentes obelete@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas.

Profesor Titular. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba